

Diseño de anillo térmico para el Patrón Nacional de Ruido

A. J. LOZANO GUERRERO¹, A. DÍAZ MORCILLO¹, J. FORNET RUIZ²,
J. MONZÓ CABRERA¹, J.L. PEDREÑO MOLINA¹,
F.J. CLEMENTE FERNÁNDEZ¹ Y A. ALBERO ORTIZ¹

1. Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Universidad Politécnica de Cartagena
2. Centro de Metrología y Calibración
(INTA)

antonio.lozano@upct.es; fornetrj@inta.es

Resumen

En ese trabajo se presentan los aspectos fundamentales de una parte fundamental del que será patrón nacional de ruido térmico: el anillo que realiza el contacto térmico entre los conductores interior y exterior en la parte superior de la línea coaxial del patrón de ruido. El objetivo de este dispositivo es mantener la misma temperatura en ambos conductores a la entrada del patrón y, asimismo, minimizar el efecto que pueda tener sobre la temperatura de ruido y el coeficiente de reflexión a la entrada del patrón.

Proyecto/Grupo de investigación: Diseño, fabricación y evaluación de un patrón primario de ruido térmico de 10MHz a 26,5GHz en tecnología coaxial. Ministerio de Ciencia e Innovación. Código: TRA 2009-0281. Grupo de Electromagnetismo y Materia.

Líneas de investigación: : *Metrología de ruido térmico en microondas.*

1 Introducción

Un patrón primario es la referencia última de medida de una determinada magnitud. Sólo unos pocos países (Estados Unidos, Reino Unido, Alemania, Francia) cuentan con un patrón primario de ruido térmico, que les permite la calibración de patrones secundarios, fuentes de ruido y equipos de medida (dando la trazabilidad necesaria a toda la cadena de medida), así como la medida directa de dispositivos de comunicaciones cuando se exige una gran precisión. El Laboratorio de Radiofrecuencia y Microondas del Centro de Metrología y Calibración del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) fue declarado por el RD 250/2004 como depositario del patrón nacional de

ruido en alta frecuencia, que está siendo desarrollado en colaboración con la Universidad Politécnica de Cartagena.

El desarrollo de un patrón de estas características, compuesto fundamentalmente por una carga adaptada y una línea de transmisión parcialmente sumergida en nitrógeno líquido, requiere de un completo conocimiento de las características de reflexión en las distintas discontinuidades que presenta el sistema, características de propagación en la línea y variación de todos estos parámetros con la temperatura. Dentro de las distintas posibilidades de realización del patrón, se optó por emplear tecnología coaxial, ya que permite obtener amplios anchos de banda de trabajo. En concreto, se pretende que el patrón nacional español presente características de patrón primario en el rango de 10MHz a 26,5GHz, margen muy superior al de los patrones primarios de otros países.

La Figura 1 muestra un esquema del patrón de ruido térmico a desarrollar. En [1], se describe en mayor detalle este patrón y sus características térmicas y electromagnéticas. En la figura se puede observar en el tramo inicial de la línea, cerca del puerto de entrada, un anillo concéntrico a la línea que hace contacto con sus dos conductores. El objetivo de esta pieza es garantizar que en el puerto de entrada se tenga la misma temperatura (o muy similar) en ambos conductores. Un circuito de agua alrededor del conductor exterior fuerza a que esta temperatura sea la del ambiente. De esta manera la conexión del patrón a los dispositivos de medida no modifica su distribución de temperaturas, que debe ser conocida de manera precisa para minimizar la incertidumbre de la temperatura de ruido generada por él.

Por tanto, la función del anillo es permitir una adecuada transferencia de temperatura entre los conductores interior y exterior de manera que, aunque en otros puntos de la línea estos conductores se encuentren a distintas temperaturas, en la entrada tengan una temperatura muy similar. Adicionalmente, es importante que el anillo no perturbe, o lo haga mínimamente, el comportamiento electromagnético del patrón, de tal manera que su contribución a la temperatura de ruido total y al coeficiente de reflexión a la entrada del patrón sea mínima.

2 Elección del Material

El anillo térmico debe ser realizado, por tanto, con un material que presente:

- Una elevada conductividad térmica k_T , para favorecer la transmisión de temperatura entre los dos conductores.
- Una constante dieléctrica pequeña ϵ'_r , para minimizar su reflectividad.
- Un factor de pérdidas pequeño ϵ''_r , para minimizar las pérdidas que introduce y, por tanto, su contribución a la temperatura de ruido.

Para obtener valores de permitividad bajos, tanto en parte real ϵ'_r como en parte imaginaria ϵ''_r , se requiere un material con una conductividad eléctrica muy baja.

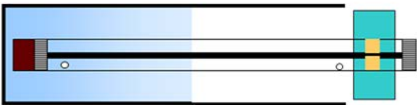


Figura 1: Esquema del patrón de ruido térmico.

son dos propiedades directamente relacionadas y es difícil encontrar un material que presente una alta conductividad térmica y una baja conductividad eléctrica o viceversa.

Para encontrar una adecuada solución de compromiso entre las tres propiedades de interés se realizó una búsqueda de materiales que permitió identificar cinco posibles candidatos: el óxido de berilio (empleado en el patrón de ruido de Estados Unidos [2], de 1 a 12,4GHz), el nitruro de boro, el nitruro de aluminio, el carburo de silicio y el shapal. En el Cuadro 2 muestra las principales características de interés de estos materiales. La conductividad térmica se obtuvo de las especificaciones técnicas de cada material; los datos de permitividad eléctrica se obtuvieron mediante medidas de caracterización dieléctrica en cavidad resonante [3] y mediante medida inversa en guía [4].

| | BeO | AlN | BN | SiC | Shapal |
|-----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|-------|--------|
| $k_T(W/(K \times m))$ | 200 | 140/180 | 70 | 180 | 90 |
| ϵ_r' | 6,5 | 8,1 | 4,0 | 6,5 | 7,1 |
| ϵ_r'' | $3,2 \times 10^{-4}$ | 5×10^{-4} | $1,2 \times 10^{-3}$ | — — — | — — — |

Cuadro 1: Características térmicas y dieléctricas de materiales cerámicos.

Como se puede observar, las mayores conductividades térmicas se corresponden con constantes dieléctricas altas. Como se verá después, valores de constante dieléctrica superiores a 6 requieren reducir el radio del conductor interior (para mantener una impedancia de 50Ω) tanto que prácticamente imposibilita su fabricación. Por esta razón, el único material adecuado es el nitruro de boro. Aunque su conductividad térmica es algo inferior a la de los otros materiales cerámicos, veremos que es suficiente para nuestro propósito.

3 Diseño del Anillo

Con el fin de minimizar la reflectividad del patrón, es necesario mantener en el tramo del anillo una impedancia característica igual a la del resto de la línea, esto es $Z_o = 50\Omega$. Teniendo en cuenta que en una línea coaxial con radio de conductor exterior a y de conductor interior b la impedancia característica es

$$Z_o = \frac{60}{\sqrt{\epsilon'_r} \log\left(\frac{a}{b}\right)} \quad (1)$$

y, en nuestro caso $\epsilon'_r = 4$ y $a=1.75$ mm, se obtiene un radio del conductor interior $b=0.33$ mm. Aun manteniendo constante la impedancia característica en toda la línea, la discontinuidad geométrica que produce el anillo excita modos de orden superior que perturban la adaptación. Es necesario, por tanto, realizar una transición suave en los laterales del anillo para reducir este efecto. En esta transición el material cerámico rellenará parcialmente el espacio entre los dos conductores. En ese caso, se puede hablar de una permitividad efectiva en un punto de la línea, que se puede obtener como

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_{raire} \epsilon_{rNB} \log\left(\frac{a}{b}\right)}{\epsilon_{raire} \log\left(\frac{c}{b}\right) + \epsilon_{rNB} \log\left(\frac{a}{c}\right)}, \quad (2)$$

donde c es el radio exterior del anillo. Finalmente, introduciendo (2) en (1) y despejando a se obtiene, para una impedancia de 50Ω ,

$$c = be^{\rho(a,b,\epsilon)}, \quad \text{con} \quad \rho(a,b,\epsilon) = \frac{\epsilon_{rNB} \left(36 \log^2\left(\frac{a}{b}\right) - 25\right)}{36 \log\left(\frac{a}{b}\right) (-1 + \epsilon_{rNB})}. \quad (3)$$

En el diseño realizado se optó por una variación lineal del radio interior de la línea, desde su valor en la zona central del anillo (0,33 mm) hasta su valor en la línea de aire (0.76 mm). La Figura 2 muestra el anillo y su sección longitudinal para un tramo central de 5 mm y una zona de transición a cada lado de 6 mm. Este anillo cumple los objetivos marcados; sin embargo, su fabricación es muy compleja, por lo que se decidió simplificar su diseño, discretizando las zonas de transición. El diseño final, con tres escalones, se muestra en la Figura 3.

4 Resultados

En la Figura 4 se muestra el módulo del parámetro S_{11} obtenido tras simular electromagnéticamente un anillo de 5 mm de longitud sin transiciones laterales. Se puede observar una elevada reflectividad que desechan la utilización de este diseño en el patrón de ruido. La Figura 5 representa la reflectividad del anillo de transiciones continuas de la Figura 2. Se puede observar una importante mejora al añadir las zonas de transición. Evidentemente, zonas de transición más largas reducirían este parámetro, pero a su vez aumentarían las pérdidas y, por tanto, la temperatura de ruido que el anillo aporta al sistema, otro aspecto que conviene minimizar. En la Figura 6 se muestra la reflectividad del anillo

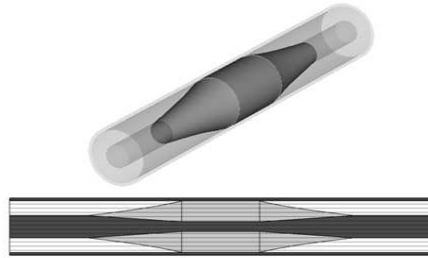


Figura 2: Anillo térmico con zonas de transición continua.

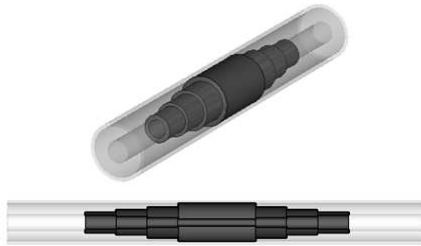


Figura 3: Anillo térmico con transiciones escalonadas.

con transiciones escalonadas de la Figura 3. Se puede apreciar un deterioro en el comportamiento del coeficiente de reflexión respecto a la versión de transiciones continuas, pero asumible.

El contacto térmico obtenido entre los dos conductores se puede observar en la distribución de temperaturas que presenta el patrón (Figura 7) en la zona del anillo y en el puerto de entrada. Se puede apreciar que la diferencia de temperatura entre conductor interior y exterior está dentro de la incertidumbre que se suele asignar a la temperatura ambiente en un patrón primario.

En cuanto a la potencia de ruido térmico aportada por el anillo al patrón o, lo que es equivalente, su aportación a la temperatura de ruido total, ésta no depende únicamente del anillo, sino también de las características de reflexión y atenuación del tramo de línea entre el anillo y el puerto de entrada. La Figura 8 muestra este incremento de temperatura de ruido para el diseño de

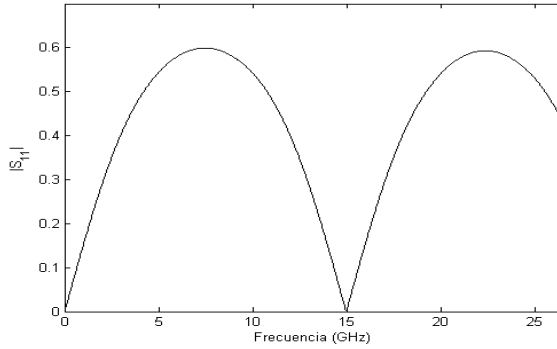


Figura 4: . Reflectividad de un anillo sin transiciones laterales.

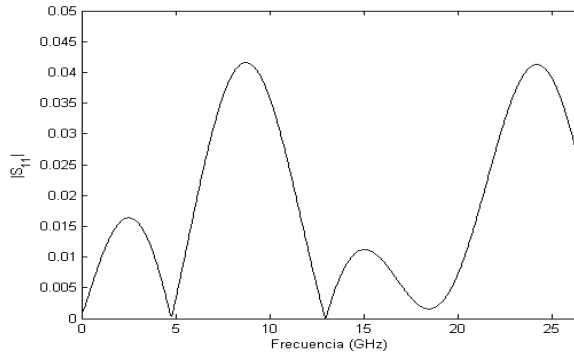


Figura 5: Reflectividad del anillo con transiciones continuas.

la Figura 3. Esta aportación a la temperatura de ruido viene determinada fundamentalmente por las pérdidas del anillo, que fundamentalmente provienen de las pérdidas debidas al dieléctrico que, en este caso, presenta un factor de pérdidas $\epsilon_r'' = 1,2 \times 10^{-3}$. Es evidente que cuanto mayor sea la longitud del tramo central o de las transiciones del anillo, mayores pérdidas presentará éste. Por otra parte, la reflectividad disminuye para transiciones más largas y la transferencia de temperatura se mejora para tramos centrales más largos, por lo que ha sido necesario establecer una solución de compromiso entre estos tres criterios, que fija la longitud total del anillo en los 17 mm representados en las Figuras 2 y 3.

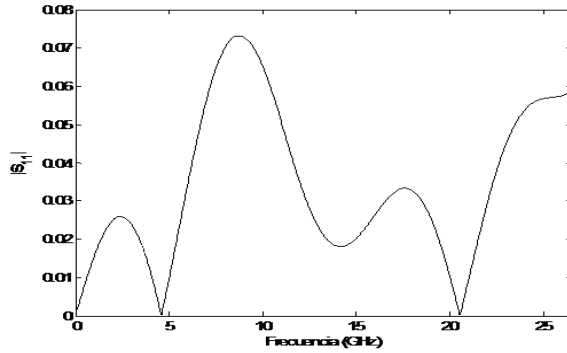


Figura 6: Reflectividad del anillo con transiciones escalonadas.

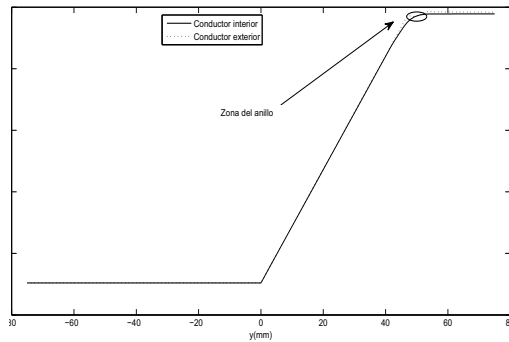


Figura 7: Distribución de temperatura en conductores interior y exterior a lo largo del patrón.

5 Conclusiones

El trabajo desarrollado se enmarca dentro del diseño, fabricación y evaluación del patrón nacional de ruido térmico de banda ancha (10MHz-26,5GHz). Se han presentado en este artículo los principales criterios de diseño del anillo térmico presente en dicho patrón. Estos criterios o características deseables en el dispositivo se han demostrado antagonistas y ha sido necesario llegar a una solución de compromiso que aunara un adecuado contacto térmico entre conductores, una baja reflectividad y unas bajas pérdidas. A partir del material dieléctrico seleccionado, nitruro de boro, y del diseño inicial del anillo, éste se ha refinado para garantizar una fabricación correcta (con las tolerancias requeridas) del dispositivo.

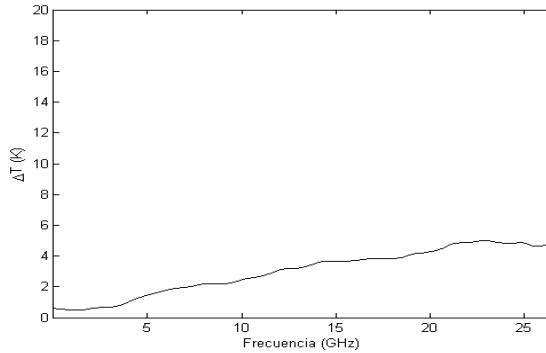


Figura 8: Incremento de temperatura de ruido producida por el anillo térmico.

6 Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto con referencia TRA 2009-0281 y por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).

Referencias

- [1] Jaime Fonet Ruiz, Antonio Lozano Guerrero, Juan Monzó-Cabrera and Alejandro Díaz-Morcillo, New Broadband Thermal Noise Primary Standard in Coaxial Technology, IEEE MTT-S International Microwave Symposium, (año: 2011).
- [2] NBS Technical Note 1074, A Coaxial Noise Standard for the 1GHz to 12.4 GHz Frequency Range., NIST, Boulder Colorado, (año: 1984).
- [3] L. F. Chen, C. K. Ong, C. P. Neo, V. V. Varadan and V.K. Varadan, Microwave Electronics. Measurement and Material Characterization, John Wiley & Sons, (año: 2004).
- [4] María E. Requena-Pérez, Antonio Albero-Ortiz, Juan Monzó-Cabrera, Alejandro Díaz-Morcillo, Combined Use of Genetic Algorithms and Gradient Descent Optimization Methods for Accurate Inverse permittivity Measurement, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 54, . 615-624, (año: 2006).